Public Works Canada
Travaux publics Canada

Architectural and Engineering Services
Services d'architecture et de génie

Building Performance Evaluation Series

Moisture Content Inspections

Document D40

Canada

Public Works Canada
Travaux publics Canada

Building Performance Evaluation Series

Moisture Content Inspections

Document D40

AES/SAG 1-4:86-49

March 1988

The contents of this document represent the views of the authors and are not necessarily the view or policies of the Department of Public Works.

The Minister of Public Works makes no representation or warranty, express or implied, with respect to this publication or the programs or information described in this publication, their quality, merchantability, or fitness for any particular purpose, or their adequacy to produce any particular result. In no event shall the Minister or Her Majesty the Queen in right of Canada, Her employees, servants or agents be legally liable to any person or persons for any damage, whether direct, indirect or consequential, resulting from the use of said publication or the programs or the information contained therein.

Published by Architectural and Engineering Services
Public Works Canada

Public Works Canada / Travaux publics Canada

DOCUMENT DATA

1. Document Title MOISTURE CONTENT INSPECTIONS	2. Control Number AES/SAG 1-4:86-49
	3. Date March 1988
4. Author(s) Consultant	5. Consultant's Ref. No.
6. Project Manager	7. Discipline Series No. D40
8. Preparation Agency and Address Building Performance Division, Public Works Canada Room C-548, Sir Charles Tupper Building Riverside Drive, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Telephone: (613) 998-7830	9. Document Type Guideline
	10. No. of Pages 16
11. Sponsoring Agency and Address	12. PWC File No. A4270-16
	13. PWC Project No. 602055
14. Supplementary Notes	15. SSC Publication No.
	16. ISBN

17. Abstract

This document presents a review of methods used to conduct the analysis and the assessment of the integrity of a building enclosure. The techniques considered deal with diagnosing the moisture conditions on and within the envelope through observation of the accessible surfaces and the physical condition of the materials making up the envelope. Consideration is also given to the environments to which they are exposed.

18. Distribution Statement: Copies are available from: Documentation Centre Architectural & Engineering Services Public Works Canada Sir Charles Tupper Bldg., Riverside Dr. Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Keywords	
	20. Documentation Centre Catalogue No. BP D40b	21. Price

TABLE OF CONTENTS

1.	**INTRODUCTION**	1
1.1	Purpose and Objectives	1
1.2	Background Information	1
2.	**TERMS OF REFERENCE**	4
2.1	General Framework	4
2.2	Limitations of Evaluation Technique	5
3.	**METHODOLOGY**	6
3.1	Stage I – Preliminary Assessment	6
3.1.1	Description of Techniques	6
3.1.2	Detailed Measurement Procedure	6
3.1.3	Analysis and Assessment	7
3.1.4	Resource Allocation and Timing	7
3.2	Expert Walkthrough Analysis	8
3.2.1	Description of Technique	8
3.2.2	Equipment	8
3.2.3	Detailed Measurement Procedure	8
3.2.4	Analysis and Assessment	9
3.2.5	Resource Allocation and Timing	9
3.3	Stage II – Simple Measurement Techniques	9
3.3.1	Description of Technique	9
3.3.2	Equipment	10
3.3.3	Detailed Measurement Procedure	10
3.3.4	Analysis and Assessment	11
3.3.5	Resource Allocation and Timing	11
3.4	Stage III – Specialized In-Depth Monitoring	12
3.4.1	Description of Technique	12
3.4.2	Equipment	12
3.4.3	Detailed Measurement Procedure	12
3.4.4	Analysis and Assessment	13
3.4.5	Resource Allocation and Timing	13
4.	**REFERENCES**	14
5.	**APPENDICES**	15
5.1	Standard Terms and Units of Measurement	15
5.2	Building Performance Evaluation Document List	16

1. INTRODUCTION

1.1 PURPOSE AND OBJECTIVES

An evaluation of moisture content is undertaken to identify locations of moisture accumulation, and wetting and avenues of moisture entry and movement in a building. It also identifies the possible sources of moisture inside, outside and within the envelope and the potential for migration due to the environment to which the materials and components are exposed.

When this evaluation is applied to the analysis of specific cases it is to develop remedial measures, operational techniques and improved details, in order to avoid problems resulting from moisture and moisture migration.

1.2 BACKGROUND INFORMATION

Moisture is generally involved in the chemical, physical and biological processes which lead to degradation of surfaces and materials. These processes include:

- repeated freezing and thawing of wet masonry, leading to surface spalling or displacement;
- for inorganic materials, the coincidence of high moisture content and freezing can result in physical breakdown of the material or, with a water supply path, ice lens formation and growth;
- continued exposure to high humidity and temperatures conducive to the growth and sustenance of micro–organisms, mold and mildew in organic materials such as wood;
- electro–chemical action of corrosion leading to the destruction of material and loss of strength and volumetric expansion of embedded materials causing failure in the surrounding material;
- migration of moisture transporting dissolved chemicals to other locations for reaction;
- expansion and contraction of materials due to changing moisture content resulting in movements at joints, loads on adjacent materials, and internal stresses, if the material is restrained;
- reduction of bond between materials due to moisture acting as a reducing agent;

The deterioration of materials, the growth of micro–organisms, the transport of dissolved chemicals or suspended particles through or on materials, and the presence of water or ice in locations where it is not desired, occur at the saturation or near–saturation point.

Complete dryness is seldom achieved in practice but can be regarded as the limit in estimating the degree of movement or induced strain of materials and components.

The intermediate levels of moisture content of materials is not of great practical importance in the diagnosis of building problems. Whether and when the material is, or will become, wet or dry is the key to performance evaluation and the basis for diagnosing moisture migration.

Water may be present as a vapour, as a liquid and as a solid. Water vapour forms part of the atmosphere and comes in contact with all building materials and furnishings. As a liquid or solid, water usually originates outside the building in the form of rain, hail, snow, melt–water, run–off, or ground water.

The concentration of water vapour in the atmosphere is expressed in terms of dew–point temperature, vapour pressure, mass density or humidity ratio. Relative humidity provides a measure of the degree of saturation, which determines the moisture content of materials in equilibrium with atmospheric conditions.

Moisture migration in the vapour phase can occur in and through materials and spaces under a difference in water vapour pressure. It can also be transported through openings and very porous materials by air movement, under the action of air pressure differences.

The porosity and continuity of the wetted surfaces of materials determines their water absorption and the rate and direction liquid waterflows through the assembly. Porosity also influences the rate of wetting or drying and, in combination with temperature change, the moisture content conditions over time.

When all the pores and capillaries of the materials are filled, they have reached saturation and flow occurs under the action of gravity or total pressure difference. Resistance to flow depends on the size and interconnection of capillaries. The direction is toward decreasing pressure or head.

The accumulation of moisture on a condensing plane within the envelope is experienced during periods when the daily average temperature of the condensing plane is below the indoor dew–point temperature. If the temperature of the condensing plane is above freezing, the moisture wets the materials or drains by gravity or evaporation through suitable openings if possible. If the temperature is below freezing the moisture will accumulate as frost and drainage ceases and the rates of sublimation are low because of the reduced vapour pressure differences involved. In both cases, the evaporation of moisture and migration by diffusion will occur in the direction of a decreasing vapour pressure gradient, usually toward a region that is at a lower temperature (3).

Moisture migration below grade will generally be away from the envelope except near the surface for all heated spaces. Tree roots may also serve to lower soil moisture content. In sensitive clays, changes in moisture content can result in substantial volume changes and foundation movements.

Temperatures nearer to grade level may drop below freezing in winter and frost will increase with increased foundation wall insulation. Adfreezing and subsequent heaving, due to ice lensing in frost susceptible soils, can result in foundation damage.

The direction of moisture migration can thus often be determined from a knowledge of: the variation in moisture content of materials; the difference in elevation; the temperature gradient; the difference in vapour pressure across the material; and the difference in total pressure across the material or assembly.

Visual indications of moisture migration are provided by wetting and frosting patterns, staining patterns, efflorescence, spalling of masonry, paint and surface coating failures, and thermography.

Visual indications of high moisture content are provided by wetting and frosting patterns, mildew, and plant growth.

Wetness can be estimated using instruments that detect the presence of water molecules, water elements, change of phase, the effects of water on heat transfer rates, or electrical properties of materials.

2. TERMS OF REFERENCE

2.1 GENERAL FRAMEWORK

The evaluation of moisture migration on and within the building envelope is almost entirely based on the observations and measurements involved in other evaluation techniques. Some that are of direct benefit are:

(1) visual analysis for material sciences
- specific photographs of exterior staining patterns or other evidence of moisture effects (wetness, efflorescence, spalling)
- progressive photographs of wetting patterns on facades

(2) thermographic inspections

(3) air leakage and pressure monitoring of the building enclosure
- location and characterization of leakage paths
- location and characterization of openings in facades in regard to rain penetration

(4) moisture level evaluation
- records of humidity and air temperature during occupancy and non–occupancy in areas where moisture problems occur

(5) thermal resistance and inertia of the building enclosure
- temperature gradients and heat flow records through the building envelope

Evidence of moisture and moisture migration are often peculiar to the particular building component or phenomena. Measurements, observations and analysis techniques specific to the particular situation are to be employed.

Moisture migration is related to time and outdoor environment. For all performance features except surface condensation, it is dependent on the past history and water absorption characteristics of the components. Instantaneous or "spot" measurements or tests are thus of little value and most emphasis is placed on interpretation of visual evidence.

The accompanying text breaks each area of investigation into 3 distinct stages. Stage I is the Preliminary Assessment. During this stage of investigation, three activities may take place. These activities would include a plan and archive review; a walkthrough of the building; and the solicitation of occupant responses and building management interviews.

Plan/archive analysis can provide a basis for predicting the likely locations for potential problems or as a source of information on details and design objectives.

Expert walkthrough analysis offers an opportunity to locate evidence of moisture and of problems due to moisture, and to substantiate or investigate locations or physical conditions that could be contributors or modifiers.

Occupancy/Use analysis offers an opportunity to obtain information on past performance or occurrence of related factors.

Simple instrumentation can be used to establish cause and effect relationships between environmental factors, boundary conditions and moisture conditions.

Existing complex instrumentation studies into air leakage or thermal properties can be utilized as opportunities for further detailed analysis or bracketing of the range of effects to be expected. They may also provide a way to identify other locations for detailed consideration.

2.2 LIMITATIONS OF EVALUATION TECHNIQUE

The measurement of moisture migration is difficult in the laboratory and impossible in the field. The quantitative determination of moisture content of materials is only possible by sampling and gravimetric means. Indirect methods can provide indications of the change in moisture content of materials with time, but the rate and process of migration can usually only be inferred.

3. METHODOLOGY

3.1 STAGE I – PRELIMINARY ASSESSMENT

3.1.1 Description of Techniques

Information as to the location, orientation and indoor environmental design conditions in problem areas should be obtained, and the pertinent as–built drawings reviewed, to determine locations for potential air or water leakage.

3.1.2 Detailed Measurement Procedure

Elevation drawings of each facade of the building should be obtained. Annotations can be made of problem location, if applicable, or future notations made of observations during subsequent levels of testing.

Sectional elevation drawings showing typical exterior wall, window, and roof intersections should be given a preliminary "Red Pencil" test to define the continuity of airtightness.

As–built construction details should be obtained for the following intersection and the "Red Pencil" test carried out with each.

(1) Window head, sill and mullion intersections with walls.
(2) Wall/floor/ceiling intersections.
(3) Column intersections with floors and exterior or partition.
(4) Partition wall intersections with exterior walls and ceilings.
(5) Exterior wall/roof intersections.
(6) Soffit/wall/roof details.
(7) Roof/curb/parapet/penthouse wall intersections.
(8) Roof penetration details – plumbing stacks, drains, vents, ducts.
(9) Foundation wall/superstructure details.
(10) Foundation wall/footing details.
(11) Column/floor/footing details.
(12) Exterior door head/jamb/sill details.
(13) Interior door head/jamb/sill details.
(14) Fire door details.
(15) Stairwell wall details including intersections with floors and walls.
(16) Elevator shaft details including intersections with floors and walls.

Indoor environmental design conditions should be noted on appropriate floor plans.

Roof plans showing drainage arrangement, location of roof drains, columns, and all penetrations, should be obtained and reduced copies made for subsequent checking and updating.

Subsurface drainage system drawings and site topography and drainage plans should be obtained, as well as soil investigation reports and underground services details.

Weather data for the locality should be compiled involving a minimum of the following information:

(1) Summer and winter Design Temperatures.
(2) Latitude.
(3) Total Monthly Hours of Bright Sunshine.
(4) Total Monthly Precipitation.
(5) Mean Daily Temperature for each month.
(6) Mean Daily Maximum and Minimum Temperature for each month.
(7) Mean Daily Outside Dew–Point Temperature for each month.

Additional information regarding the following should be assembled if available:

(8) Wind Direction and Frequency.
(9) Seasonal Average Wind Velocity.
(10) Freezing Index.
(11) Driving Rain Indices.
(12) Soil Temperatures.
(13) Site Elevation.

3.1.3 Analysis and Assessment

Consideration of the facade, roof topography and building orientation allows some judgement to be made of the surface hydraulics. These same factors, coupled with local wind and rainfall meteorological records can provide some prediction of the wetting or staining patterns to be expected and some idea of the potential for rain penetration or leakage (9).

Statistical information on rates of rainfall to be expected, and details of the roof drainage system, can provide a basis for estimating the extent and duration of ponding on roofs and of the resulting loads and deflections that could influence drainage. Similar information on snowfall, and of accumulated snow depth on the ground, can be applied in much the same way. Coupled with estimates of the thermal characteristics of the envelope component and its external features, the potentials for snow accumulation, ice damming and melt water drainage can be assessed (10,11).

Examination of the as–built construction details, particularly at intersections, can provide an indication of the location and characteristics of possible leakage paths through the envelope, and of the potential for moisture entry or removal. The thermal characteristics of the component can also be established and, on the basis of the indoor conditions to be maintained and the climate of the region, estimates of the potential for condensation and moisture accumulation can be made (3,13).

3.1.4 Resource Allocation and Timing

One experienced professional and one technical person for approximately five days. Access to reduction/enlargement photocopier or copy camera.

3.2 EXPERT WALKTHROUGH ANALYSIS

3.2.1 Description of Technique

The information gained and observations made through Stage II activities of other disciplines should be augmented with photographs, sketches and notes on visible features that relate to moisture or its effects. Notation on floor plans, sections and elevations where evidence of moisture has been observed or where moisture entry is suspected.

3.2.2 Equipment

Camera with wide–angle to telephoto zoom lens and macro close–up feature.
electronic flash with zoom adjustment,
pocket tape recorder and note/sketch book,
pocket tape measure,
sketch pad, and
smoke pencil or string.

3.2.3 Detailed Measurement Procedure

On the initial walkthrough, a tour by the building manager provides a general overview for the team members and an introduction to the current functional activities and where they take place.

Observations are recorded and photographic records taken of every building facade with close–up photos of all apparent signs of moisture related effects:

- efflorescence
- staining
- dust marking on exterior walls or top floor ceilings
- paint discolouration or peeling
- condensation on and within sealed multiple glazing
- sealant deterioration
- masonry spalling
- condensation on wall floor, and ceiling surfaces
- rotting of wood components
- buckling of wood–based panelling
- dampness or buckling of carpets
- water staining at window sills and headers
- plaster buckling and cracking or drywall deterioration
- mildew patterns
- window glass scumming – interior or exterior
- top floor ceiling staining

Observations are recorded and photographs taken of all interior evidence of moisture effects. If possible, any temporary staining or wetting patterns should be outlined with a marker that is not sensitive to water. This will provide a reference for future testing. Observations are recorded and photographs taken of roofs from superior vantage points to document the location of penetrations and drains and drainage patterns and condition of the roof surface. Typical roof surface drainage patterns and conditions:

- ponding patterns
- gravel scouring
- ridging patterns

Observations of the following are recorded and photographs taken of roofs, roofing and terraces:

- ridges and blisters
- gravel or surface cover erosion or deterioration
- splitting or displacement of roofing
- displacement or evidence of movement of plumbing stacks or other penetrations
- "soft spots" underfoot
- moss or plant growth
- flashing buckling or separation
- spalling and deterioration of terrace surfacing

If possible, pertinent interviews with occupants and operating personnel should be conducted regarding moisture problems that have been experienced. Information should be sought regarding:

- frequency of occurrence
- coincidence of weather conditions
- time of day – duration

Spot tests with simple smoke generators (cigarette, burning string or smoke pencil) to indicate paths of air leakage.

Investigation of as–built construction details and internal moisture conditions by access openings and viewing ports with and without aids (Borescope, mirror, etc.)

- features on underside of roof deck
- features at exterior wall/ceiling junction

3.2.4 Analysis and Assessment

Same as in Stage I (3.1.3), but related to specific problem location and time of occurrence plus specific information obtained to verify or correct plan and archive information and supplement information gained though other disciplines' walkthrough.

3.2.5 Resource Allocation, Timing

One experienced professional, two junior professionals or technicians for approximately 10 days.

3.3 STAGE II – SIMPLE MEASUREMENT TECHNIQUES

3.3.1 Description of Techniques

Concentrated examination and testing in locations identified from application of Stage I techniques, undertaken in conjunction with or supplementary to the following documents of this series:

- D36 – Airtightness and Pressure Monitoring
- D38 – Thermographic Inspections of Building Enclosures
- D39 – Thermal Resistance Measurement

3.3.2 Equipment

- Electronic thermometer with surface temperature probe
- Recording hygro–thermograph
- Portable humidifier
- Moisture meters
- Calibrated metal detector
- Electronic "Stud–finder"
- Illuminated visual probe with camera
- Garden hose with water supply for rain or melt water simulation
- Water soluble dye
- Water detector/alarm
- Water piezometer
- Operation time meter

3.3.3 Detailed Measurement Procedures

Surface temperature measurements are made at locations on windows, or over identified thermal discontinuities (bridges), in conjunction with concurrent indoor and outdoor air temperatures. A sensitive electronic instrument is usually used but approximate values can be obtained with a pocket, liquid–in–glass, or bi–metallic thermometer. Recording hygro–thermographs, usually clockwork driven, can be used to obtain a continuous record of indoor air temperature and relative humidity for periods up to seven days. The instrument chart must be changed each week and final readings checked with a sling psychrometer. The psychrometer readings should be written on the completed chart with time and date noted.

Portable humidifiers may be used to increase room humidity level to establish the condensation pattern of a window unit.

When it is desirable to obtain information on the moisture content of components, several techniques are available. Surface contact meters can be used to obtain an indication of wetness beneath the surface. Meters with sharp probes can be used to penetrate the surface to obtain an indication of the moisture content at different depths. More cumbersome and complex devices can be used across a section to obtain an indication of average moisture content (8).

The location of metal components, such as ties, in masonry walls can be determined using metal detectors. It may be possible to calibrate such devices, using samples of the original ties used, to detect changes due to corrosion.

Devices sensing changes in dialectric properties may be used to locate wood or metal studs to gain insight into construction details or to identify thermal bridges.

More complete information on internal conditions or construction details can be obtained, with minimal damage to components, using fibre–optic devices. Built–in illumination and photographic attachments are available.

Water leakage patterns may be established using intentional flooding of roofs or spraying of facades and observing leakage or staining patterns on interior finishes. Water soluble dyes or UV fluorescent tracers can be added. For facades, suitable pressure difference conditions should be selected or created.

Sequential photography of the progress of natural or artificial wetting of building facades (9) is useful.

Water alarm devices can be installed to provide a signal when water accumulates. Piezometers in soil provide an indication of water level/pore pressure for subgrade moisture investigations. (12).

Operation time meters on calibrated sump pumps can provide data on total drainage flow or integrated flow over time.

3.3.4 Analysis and Assessment

Measurement of surface temperature of windows, or over thermal discontinuities (bridges), and of indoor and outdoor air temperatures, provides a measure of "Temperature Index" (4) as an assessment of thermal performance and surface condensation potential.

If records of indoor temperatures and humidity are not available from other disciplines, recording hygro–thermographs can provide data for analysis of condensation potential.

In cold weather, intentional humidification can be used to precipitate condensation and provide an indication of the surface temperature patterns of windows to supplement surface temperature readings. Subsequent photography of wetting patterns on exterior building facades under real or simulated rain–wetting provides an indication of how water flows over the facade under the action of gravity and wind. This technique can confirm or indicate locations for surface water flow concentration, adequacy of drip arrangements, and flow diversion features to assess potentials for water penetration and the development of staining patterns (9).

Intentional ponding or wetting of roofs and facades can be useful in identifying gravity flow patterns and in locating leakage paths. In most cases, such tests will require concurrent examination of as–built detail drawings and will benefit considerably from examination of actual construction through repairable access openings. The use of tracer techniques provides for even more adequate understanding of the phenomenon.

Measurement of moisture content provides a benchmark for speculation on past history and is useful if the presence of moisture cannot be ascertained by simple observation. Because of the transient nature of the above grade environment, the actual level of moisture content is of little use.

The sub–grade environment is comparatively stable thermally, and the measurement of moisture content or water table in soils is an important environmental indicator. Regional climatological information can be used as a basis for comparison, providing clues as to the influence of the building and its surroundings on moisture migration in the sub–grade. Analysis can often be based on steady–state conditions for vapour diffusion and capillarity.

3.3.5 Resource Allocation and Timing

One experienced professional and two assistants for approximately three weeks.

3.4 STAGE III – SPECIALIZED IN DEPTH MONITORING

3.4.1 Description of Techniques

Detailed examination and short term testing of conditions and performance at locations identified from application of Stage I & II techniques and evaluation in conjunction with the following documents of this series:

- D36 – Airtightness and Pressure Monitoring
- D38 – Thermographic Inspections of Building Enclosures
- D39 – Thermal Resistance Measurement

3.4.2 Equipment

- Time of wetness recorder
- Bouyoucus block monitor/recorder
- Calibrated metal detector
- Nuclear moisture meters
- Crack propagation sensors
- Joint movement recorders
- Time–Lapse, cine–camera, or video tape recorder
- Electronic "Stud–finder"
- Delmhorst wood moisture meter
- Capacitance moisture meter
- Plant watering meter
- Cobalt strip humidity sensors
- Water detector/alarm
- Illuminated visual probe with camera
- Garden hose with water supply for rain or melt water simulation
- Water soluble dye
- Saber saw or knives for cut tests through gypsum board or roofing
- Tools for removal of convector covers, access hatches, flashings
- Portable humidifier
- Residential type dehumidifier

3.4.3 Detailed Procedures

Time lapse or sequential photography of wetting patterns on building facades under real or simulated rain–wetting.

Measurement of drainage, progression of wetting patterns from natural or simulated water penetration of enclosure elements, with or without colour tracers.

Observation of leakage paths through enclosure elements under real or simulated rain–wetting with intentional air pressure differences.

Examination of internal envelope details by openings available or cut through external cladding (roofs), or internal finishes (walls). Observation of water penetration under natural or simulated wetting, with or without colour tracers.

Modification of indoor environment to observe effects on condensation, surface temperatures, by:

- lowering or raising of air temperature
- lowering or raising of humidity
- increasing air circulation

Measurements and recording of moisture content of materials at selected locations.

Location of hidden construction components – wood and metal framing, masonry ties, cavities, mortar droppings.

Thermographic scanning of building facade and roof under known temperature and pressure differential conditions across the envelope and interior environmental conditions in order:

- to detect concentrations of high moisture content
- to detect air leakage locations contributing to moisture accumulation
- to detect surface temperature patterns on exterior cladding and roofing related to expansion and contraction effects (night observations).

Aerial photography of wetting patterns, snow accumulation, and ponding of roofs.

Continuous recording of surface temperatures and temperature gradients through envelope components at selected locations.

Measurement of driving rain on building facades and of drainage from selected drainage openings.

Periodic strain and movement measurements of roofing membranes.

Progressive measurement of masonry tie deterioration with calibrated portable metal detectors.

Continuous recording of time–of–wetness of ties and other envelope components.

Time–lapse photography of condensation patterns on windows and other envelope components.

Regular or continuous measurement of soil suction (tensionmeter) and of water table for subgrade structures.

3.4.4 Analysis and Assessment

As per associated Stage II techniques listed in 3.3.1.

3.4.5 Resource Allocation and Timing

As per associated Stage II techniques listed in 3.3.1.

4. REFERENCES

(1) Hutcheon, N.B. and Handegord, G.O. **Building Science for a Cold Climate** John Wiley and Sons Canada, 1983.

(2) Wilson, A.G. **Condensation in Insulated Masonry Walls in Summer**, RILEM/CIB Symposium "Moisture Problems in Buildings", Helsinki 1965, NRC 9130.

(3) Handegord, G.O.P. **Prediction of the Moisture Performance of Walls**, ASHRAE Transactions 1985, Vol. 91 Pt. 2.

(4) Wilson, A.G. and Brown, W.P. **Thermal Characteristics of Double Windows**, Canadian Building Digest 58, October 1964 .

(5) Legget, R.F. and Crawford, C.B. **Trees and Buildings**, Canadian Building Digest 62, February 1965.

(6) Hamilton, J.J. **Foundations on Swelling or Shrinking Subsoils**, Canadian Building Digest 184, March 1977.

(7) Burn, K.N. **Frost Action and Foundations**, Canadian Building Digest182, November 1976.

(8) TenWolde, A. and Courville, G. **Instrumentation for Measuring Moisture in Building Envelopes** ASHRAE Transactions 1985 Vol. 91 Pt. 2.

(9) Robinson, G. and Baker, M.C. **Wind-driven Rain and Buildings**, Technical Paper No. 445, July 1975, NRCC 14792.

(10) Baker, M.C. **Drainage From Roofs**, Canadian Building Digest 151.

(11) Baker, M.C. **Ice on Roofs**, Canadian Building Digest 89, May 1967.

(12) Bososuk, M. **Description and Installation of Piezometers for Measuring Pore-water Pressures in Clay Soils**, DBR/NRCC Building Research Note 37.

(13) **Construction Details for Airtightness**, DBR Seminar workshop Proceedings No. 3, Division of Buildings Research 1980, (NRCC 18291).

5. APPENDICES

5.1 STANDARD TERMS AND UNITS OF MEASUREMENT

adfreezing – the process by which one object becomes adhered to another by the binding action of ice.

dew point temperature – the temperature at which moist air becomes saturated with water vapour when cooled at constant pressure.

ice lens – the thin layers of ice that form in the soil as it freezes. The build up of these layers cause an upwards thrust in the soil.

isothermal – constant temperature.

piezometer – instrument used to measure pressure.

relative humidity (RH) – the ratio of the water vapor present in interior air to that present in saturated air at the same temperature and barometric pressure; approximately, it equals the ratio of the partial pressure or density of the water vapor in the air to the saturation pressure or density, respectively, of water vapor at the same temperature.

vapour pressure – the pressure exerted by a vapour.

5.2 BUILDING PERFORMANCE EVALUATION DOCUMENT LIST

Documents in this series have been divided into four classes. Class A documents describe the use of documents in the other three classes. Class B is a catalogue of tests which includes an index and cross reference list. Class C documents provide an overview of the three performance areas and summarize the Class D documents in the respective area. Class D documents contain descriptions of performance attributes and detail means of assessing those attributes.

	A1	Project Manager's Guide
	A2	Property Manager's Guide
	B1	Catalogue of Tests
Overviews	C1	Environmental and Energy Performance
	C2	Functional Performance
	C3	Systems and Material Performance
Environmental and Energy Performance	D01	Pollutant Evaluation
	D02	Pollution Migration
	D03	Thermal Environment Evaluation
	D04	Global Evaluation: Energy Performance
	D05	Component Evaluation: Energy Performance
	D06	Equipment and Systems Evaluation: Energy Performance
	D07	Retrofit Evaluation: Energy Performance
	D08	Acoustic Environment Evaluation
	D09	Air Circulation Evaluation
	D10	Illumination Evaluation
	D11	Weather Data Collection
Functional Performance	D20	Record and Archive Analysis
	D21	Plan Annotation
	D22	Focused Interviews
	D23	Questionnaires
	D24	Observation
Systems and Material Performance	D30	Structural Walls and Columns: Condition Survey
	D31	Structural Slabs and Roofs: Condition Survey
	D32	Parking Garages: Condition Survey
	D33	Mechanical Systems Evaluation
	D34	Mechanical Controls Evaluation
	D35	Electrical Systems Evaluation
	D36	Airtightness and Pressure Monitoring
	D37	Measurement of Outdoor Air Supply Rate
	D38	Thermographic Inspections of Building Enclosures
	D39	Thermal Resistance Measurement
	D40	Moisture Content Inspections
	D41	Roofing Systems Evaluation

Travaux publics Canada
Services d'architecture et de génie

Public Works Canada
Architectural and Engineering Services

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Inspections de la teneur en humidité

Document D40

Canada

Travaux publics Canada
Public Works Canada

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Migration de l'Humidité

Document D40

AES/SAC 1-4:86-49

Mars 1988

Les sujets traités dans ce document représentent les points de vue des auteurs et ne sont pas nécessairement les points de vue ou toutes lignes de conduite du département des Travaux publics.

Le ministre des Travaux publics ne fait aucune recommandation ni n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, relativement à la présente publication ou aux programmes ou à l'information qu'elle renferme, à leur qualité, à leur aptitude à la commercialisation, à leur adaptation à tout usage particulier ou à leur capacité à produire un résultat donné. En aucun cas, le Ministre ou Sa Majesté la Reine du chef du Canada, ses employés ou agents ne sont responsables de par la loi de tout dommage résultant directement ou indirectement de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information qu'elle contient.

Publication des Services d'architecture et de génie
Travaux publics Canada

Travaux publics Canada / Public Works Canada

FICHE SIGNALÉTIQUE DE DOCUMENT

1. Titre du document MIGRATION DE L'HUMIDITÉ	2. Numéro de contrôle AES/SAG 1-4:86-49
	3. Date mars 1988
4. Auteur(s) Consultant	5. No de réf. du conseil
6. Chargé de projet	7. No de la collection technique D40
8. Nom et adresse de l'organisme rédacteur Division du rendement des immeubles, T.P.C. Local C-548, Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Téléphone: (613) 998-7830	9. Type de document Lignes directrices
	10. Nombre de pages 17
11. Nom et adresse de l'organisme promoteur Technologie du design, de la construction et de l'immobilier Programmes de soutien à la gestion immobilière fédéral Logement	12. No de dossier de TPC A4270-16
	13. No de projet de TPC 602055
14. Notes Toutes questions ou commentaires doivent être dirigés à l'organisme rédacteur, se référer à 8 ci-haut.	15. No de publication de ASC
	16. ISBN

17. Résumé

Le présent document expose une méthode d'analyse et d'évaluation de l'intégrité de l'enceinte d'un bâtiment. Les techniques à l'étude touchent le diagnostic des conditions d'humidité sur l'enveloppe et à l'intérieur de cette dernière par l'observation des surfaces accessibles et de la condition physique des matériaux qui la composent. Par ailleurs, les milieux auxquels le bâtiment est exposé sont également pris en ligne de compte.

18. Diffusion Exemplaires disponibles: Centre de documentation Services d'architecture et de génie Travaux publics Canada Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Mots clés	
	20. No de catalogue du centre de documentation BP D40b	21. Prix

TABLE DE MATIÈRES

1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	Buts et objectifs	*1*
1.2	Information de base	*1*
2.	**DÉLIMINATION DU SUJET**	*4*
2.1	Cadre général	*4*
2.2	Limites des techniques d'évaluation	*5*
3.	**MÉTHODOLOGIE**	*6*
3.1	Étape I – Évaluation préliminaire	*6*
3.1.1	Description de la technique	*6*
3.1.2	Mesures détaillées	*6*
3.1.3	Analyse et évaluation	*7*
3.1.4	Affectation des ressources/temps imparti	*8*
3.2	Analyse des lieux par des experts	*8*
3.2.1	Description des techniques	*8*
3.2.2	Matériel	*8*
3.2.3	Mesures détaillées	*8*
3.2.4	Analyse et évaluation	*9*
3.2.5	Affectation des ressources/temps imparti	*10*
3.3	Étape II – Techniques simples de mesure	*10*
3.3.1	Description des techniques	*10*
3.3.2	Matériel	*10*
3.3.3	Mesures détaillées	*10*
3.3.4	Analyse et évaluation	*11*
3.3.5	Affectations des ressources/temps imparti	*12*
3.4	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	*12*
3.4.1	Description de la technique	*12*
3.4.2	Matériel	*12*
3.4.3	Mesures détaillées	*13*
3.4.4	Analyse et évaluation	*14*
3.4.5	Affectation des ressources/temps imparti	*14*
4.	**RÉFÉRENCES**	*15*
5.	**ANNEXES**	*16*
5.1	Terms et unités standards de mesure	*16*
5.2	Liste de document évaluant le rendement des immeubles	*17*

1. INTRODUCTION

1.1 BUT ET OBJECTIFS

Identifier l'emplacement des accumulations d'humidité, de mouillage ainsi que des voies d'entrées et de déplacement de l'humidité dans un bâtiment. Identifier les sources possibles d'humidité à l'intérieur, à l'extérieur, et au sein même de l'enveloppe. Identifier les potentiels de migration entraînés par le milieu auquel les matériaux et les composants sont exposés.

Application des points susmentionnés à l'analyse de cas précis afin de mettre au point des mesures de protection, des techniques opérationnellez et des améliorations de détail permettant d'éviter les problèmes causés par l'humidité et sa migration.

1.2 INFORMATION DE BASE

De façon générale, on retrouve l'humidité dans les mécanismes chimiques, physiques et biologiques qui entraînent la détérioration des surfaces et des matériaux. Ces processus incluent :

- un cycle répété de gel et de dégel de la maçonnerie provoque l'effritement ou le déplacement superficiel.
- dans le cas des matériaux inorganiques, la coïncidence d'une forte teneur en eau et du gel peut entraîner leur bris matériel ou, par le cheminement d'eau d'alimentation, la formation et la croissance de lentilles de glace.
- une exposition permanente à une humidité et à des températures élevées est propice à la croissance et au maintien de micro–organismes et de moisissure dans les matériaux de nature organique tels que le bois.
- les effets électrochimiques de la corrosion peuvent entraîner la destruction de matériaux et une perte de résistance. L'expansion volumétrique des matériaux encastrés peut causer la rupture des matériaux voisins.
- l'eau est nécessaire à certaines réactions chimiques, et la migration de l'humidité peut favoriser le transport de matières chimiques dissoutes vers d'autres milieux de réaction.
- la dilatation et la contraction de matériaux soumis à des fluctuations de teneur en humidité peuvent provoquer des déplacements de joint, des surcharges sur les matériaux contigus et des contraintes internes si le matériau est en contrainte.
- l'humidité peut être également un agent de réduction de la liaison entre les matériaux.

La détérioration des matériaux, la croissance de micro–organismes, le transport de matières chimiques ou de particules en suspension à travers ou sur les materiaux ainsi que la présence non souhaitable d'eau ou de glace dans certains endroits surviennent au point de saturation ou de quasi saturation.

En pratique, un état sec total est rarement atteint mais peut être considéré comme étant la limite d'estimation du degré de déplacement ou de contrainte induite des matériaux et des composants.

Les niveaux intermédiaires de teneur en eau ne présentent guère d'importance pratique dans le diagnostic des problèmes touchant les bâtiments. Le fait que le matériau soit ou devienne sec ou humide et le moment où il le deviendra est l'élément primordial de l'évaluation de rendement et le fondement du diagnostic de la migration de l'humidité.

L'eau peut se trouver sous forme de vapeur, sous forme liquide ou solide. Présente dans l'atmosphère, la vapeur d'eau entre en contact avec tous les bâtiments et le mobilier. À l'état liquide ou solide, elle est précipitée habituellement à l'extérieur des bâtiments sous forme de pluie, de grêle, de neige, d'eau de fonte, d'eau de ruissellement ou d'eau souterraine.

La concentration de vapeur d'eau dans l'atmosphère peut être exprimée en termes de température au point de rosée, de pression de vapeur, de densité ou de taux d'humidité. L'humidité relative indique une mesure de degré de saturation qui précise la teneur en eau de matériaux en équilibre avec les conditions atmosphériques.

Sous forme de vapeur, la migration de l'humidité peut prendre forme dans et à travers les matériaux et les espaces à la suite d'une différence de pression de vapeur d'eau. Sous formes de vapeur, l'humidité peut en outre être vehiculée par des courants d'air au travers d'ouvertures et de matériaux extrememement poreux, sous l'action de pressions d'air differentielles.

Le montant d'humidité qu'un matériau peut absorber s'élève à un taux croissant à mesure que l'humidité relative s'approche de 100%. La porosité et la continuité des surfaces de matériaux mouillées déterminent leur absorption d'eau ainsi que le volume et la direction d'eau liquide à travers l'ensemble. En outre, la porosité agit sur le rythme de mouillage ou de séchage et, en relation avec les changements de température, sur les conditions de la teneur en eau dans le temps.

Lorsque l'ensemble des pores et des conduits capillaires sont remplis, les matériaux sont saturés et l'écoulement peut se produire sous l'effet de la gravité ou de la différence de pression totale. La résistance à l'écoulement dépend de la dimension et de l'interconnexion des conduits capillaires. Le sens de l'écoulement prend la direction de la pression ou de la hauteur la moins élevée.

L'accumulation d'humidité superficielle dans la masse de l'enveloppe survient durant les périodes où la température quotidienne moyenne de la surface de condensation est inférieure à la température du point de rosée à l'intérieur. Si la température de la surface de condensation est au–dessus du point de congélation, l'humidité peut mouiller les matériaux ou s'écouler par gravité oupar évaporation à travers des ouvertures convenables. Si cette température estau–dessous du point de congélation, l'humidité s'accumule en gel et l'écoulement cesse et les taux de sublimation sont faibles en raison des différences m oins marquées de pression de vapeur. Dans les deux cas, l'évaporation de l'humidité et sa migration par diffusion se font vers un gradient décroissant de pression de vapeur, habituellement vers une zone à température inférieure (3).

Dans le cas de tous les espaces chauffés, la migration de l'humidité (sous terre) se fait généralement à l'écart de l'enveloppe, sauf près de la surface. Les racines d'arbres peuvent également permettre de réduire la teneur en eau. Dans les argiles sensibles, les fluctuations de teneur en eau peuvent entraîner des changements de volume et de mouvements de fondation considérables.

À proximité de la surface du sol, les températures peuvent chuter sous le point de congélation en hiver et le gel augmente avec un accroissement de l'isolation des murs de fondation. Un surcroît de gel, et le gonflement ainsi provoqué en raison de la présence de lentille de glace dans les sols sensibles au gel, peuvent endommager les fondations.

La direction de la migration de l'humidité peut être souvent établie en connaissant : la variation de teneur en eau du matériau; la différence de hauteur; le gradient de température; la différence de pression de vapeur sur le matériau; la différence de pression totale sur le matériau ou sur l'ensemble.

Des signes visibles de migration de l'humidité sont donnés par les empreintes de mouillage et de gel, par les empreintes d'humidification, par l'efflorescence, par l'effritement de la maçonnerie, par la détérioration des peintures et des endroits superficiels, ainsi que par les techniques de thermographie.

Des signes visibles de forte teneur en eau sont fournis par les empreintes de mouillage et de gel, la moisissure et la croissance végétale.

Il est possible d'évaluer le degré d'humidité à l'aide d'instruments de détection de la présence de molécules d'eau, d'éléments aqueux, de changements de phases, des effets de l'eau sur les taux de transfert de chaleur, ou des propriétés électriques des matériaux.

2. DÉLIMINATION DU SUJET

2.1 CADRE GÉNÉRAL

L'évaluation de la migration de l'humidité sur et à l'intérieur de l'enveloppe d'un bâtiment est presque exclusivement fondée sur les observations et les mesures utilisées dans d'autres techniques d'évaluation. Un certain nombre présentent un avantage direct :

1) Analyse visuelle pour science des matériaux
   - photographies particulières d'empreintes d'humidification et d'autres preuves des effets de l'humidité (mouillures, efflorescence, effritement)
   - photographies progressives d'empreintes d'humidification sur les façades.

2) Inspections thermographiques

3) Contrôle des fuites d'air et de la pression des enveloppes de bâtiment
   - localisation et caractérisation du cheminement des fuites
   - emplacement et caractérisation des baies de façades en ce qui concerne la pénétration de l'eau de pluie.

4) Évaluation du niveau d'humidité
   - données sur l'humidité et la température ambiante en périodes occupées et non occupées dans les zones touchées par des problèmes d'humidité.

5) Résistance et inertie thermiques de l'enveloppe du bâtiment
   - gradients de température et données sur l'écoulement de la chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment.

Les preuves d'humidité et de migration de l'humidité sont souvent particulières à l'élément ou au phénomène du bâtiment en cause. On emploie des techniques de mesure, d'observation et d'analyse en fonction de la situation particulière.

La migration de l'humidité est reliée au temps et au milieu extérieur. Pour toutes les caractéristiques de rendement à l'exception de la condensation superficielle, elle est fonction de données historiques et de particularités des composants en matière de sorption d'eau. Donc, les mesures ou les essais instantanés sont de peu de valeur et toute l'attention est accordée à l'interprétation des preuves visibles.

Dans le présent document, chaque secteur d'enquête est subdivisé en trois étapes distinctes. L'étape I, l'"évaluation préliminaire", peut comporter trois activités : une analyse des plans et archives; une inspection du bâtiment; l'interrogation des occupants ainsi que des entrevues avec la gérance de l'immeuble.

L'analyse des plans et des documents peut permettre de prévoir les emplacements de problèmes potentiels ou peut se révéler une source de renseignements à l'égard de certains détails et objectifs conceptuels.

Une analyse experte en parcourant les lieux peut permettre de repérer des signes d'humidité et de problèmes connexes, et de déterminer ou d'étudier certains endroits ou certaines conditions matérielles susceptibles d'être des agents contributeurs ou modificateurs.

L'analyse occupation–utilisation permet d'obtenir des renseignements sur le rendement antérieur ou sur certains facteurs pertinents.

De simples instruments peuvent servir à établir des rapports de cause à effet entre des facteurs environnementaux, des questions de limites et des conditions d'humidité.

Il est possible de faire appel à de complexes études par instrumentation touchant les fuites d'air ou les propriétés thermiques, en vue de procéder à des analyses ou accouplements ultérieurs de l'ampleur des effets attendus. Ces travaux peuvent permettre en outre de localiser certains autres emplacements à des fins d'études détaillées.

2.2 LIMITES DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION

La mesure de la migration de l'humidité se révèle difficile en laboratoire, et impossible sur les lieux. L'analyse quantitative de la teneur en eau des matériaux ne peut se faire que par échantillonnage et par gravimétrie. Certaines méthodes indirectes peuvent offrir des indications quant au changement de la teneur en eau en fonction du temps, mais le rythme et le mécanisme de la migration ne peuvent généralement qu'être déduits.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 ÉTAPE I - ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE

3.1.1 Description de la technique

En vue de localiser les fuites d'air ou d'eau possibles, il y a lieu d'obtenir des renseignements sur l'emplacement, l'orientation et les conditions conceptuelles environnementales intérieures des zones problèmes, et d'étudier les "plans d'archives" pertinents.

3.1.2 Mesures détaillées

Il est conseillé d'obtenir les plans en élévation de chaque façade. Il est possible d'annoter l'emplacement problème au besoin, ou d'y indiquer ultérieurement des remarques à l'occasion d'essais lors de niveaux suivants.

Les plans d'élévations en coupe illustrant de façon typique les murs extérieurs, les fenêtres et les jonctions de toit doivent faire l'object d'un essai préliminaire au "crayon rouge" pour établir la continuité de l'étanchéité à l'air.

Les détails des "plans d'archives" doivent être obtenus à l'égard des jonctions suivantes, et l'essai au "crayon rouge" doit être réalisé pour chacune d'elles :

1) Jonction des linteaux, appuis et meneaux de fenêtre avec les murs.
2) Jonction des murs/planchers/plafonds.
3) Jonction des colonnes avec les planchers et les murs extérieurs ou les parois de séparation.
4) Jonction des murs de séparation avec les murs extérieurs et les plafonds.
5) Jonction des murs extérieurs/toits.
6) Détails des soffites/murs/toits.
7) Jonction des toits/bordures/parapets/murs de construction hors toit.
8) Détails de pénétration de toits–descentes, avaloirs, évents, gaines.
9) Détails de murs de fondation/superstructure.
10) Détails de murs de fondation/semelles.
11) Détails de colonnes/planchers/semelles.
12) Détails de linteaux/chambranles et seuils de portes extérieures.
13) Détails de linteaux/chambranles et seuils de portes intérieures.
14) Détails de portes coupe–feu.
15) Détails des murs de cages d'escalier, y compris les jonctions avec les planchers et les murs.
16) Détails des puits d'ascenseur, y compris les jonctions avec les planchers et les murs.

Les conditions conceptuelles environnementales intérieures doivent être indiquées sur les plans d'étage pertinents.

Les plans de toit indiquant l'agencement de l'écoulement, l'emplacement des avaloirs, des colonnes et de toutes les pénétrations doivent être obtenus et réduits en copies destinées à la vérification et la mise à jour ultérieures.

Les plans concernant le réseau de drainage souterrain ainsi que les plans de la topographie des lieux et de l'écoulement doivent également être obtenus, avec les rapports d'étude des sols et les détails sur les services enfouis.

Les données météorologiques locales doivent être compilées et doivent comporter un minimum des renseignements suivants :

1) Températures de calcul été et hiver
2) Latitude
3) Total mensuel des heures d'ensoleillement
4) Total mensuel des précipitations
5) Température moyenne quotidienne pour chaque mois
6) Température moyenne quotidienne maximale et minimale pour chaque mois
7) Température moyenne extérieure du point de rosée pour chaque mois

S'ils sont disponibles, les renseignements supplémentaires suivants doivent être recueillis :

8) Direction et fréquence des vents
9) Vitesse saisonnière moyenne des vents
10) Indice de gel
11) Indices de pluie battante
12) Températures du sol
13) Cotes de hauteur des lieux

3.1.3 Analyse et évaluation

L'étude de la façade, du profil du toit et de l'orientation du bâtiment permet de se faire une certaine idée de l'hydraulique superficielle. Alliés aux statistiques météorologiques locales sur les vents et les chutes de pluies, ces mêmes facteurs peuvent offrir certains indices sur les empreintes de mouillage et d'humidification prévues et quelques indications quant aux possibilités de pénétration de pluie ou de fuites (9).

Les données statistiques touchant les taux de précipitation prévus et les détails sur le réseau d'écoulement du toit peuvent offrir une base d'évaluation du volume et de la durée de l'accumulation d'eau sur les toits et des surcharges et des déflections qui en résultent et qui peuvent influer sur l'écoulement. Sur le même exemple, il est possible d'appliquer les renseignements analogues à l'égard des chutes de neige et de son accumulation au sol. Ajoutées aux estimations des caractéristiques thermiques de l'enveloppe et de ses accessoires externes, ces données permettent d'évaluer les possibilités d'accumulation de neige, de formation de barrières de glace et d'écoulement des eaux de fonte (10, 11).

L'étude des détails des "plans d'archives", notamment ceux des jonctions, peut fournir une indication quant à l'emplacement et aux caractéristiques de cheminements de fuite possibles à travers l'enveloppe et quant aux possibilités de pénétration et d'enlèvement de l'humidité. Par ailleurs, les caractéristiques thermiques du composant peuvent être établies et, en fonction des conditions internes à respecter et du climat régional, il est possible d'estimer les risques de condensation et d'accumulation de l'humidité (3, 13).

3.1.4 Affectation des ressources/temps imparti

Un spécialiste expérimenté et un technicien pendant environ cinq jours. Possibilité d'utiliser une photocopieuse (réduction et agrandissement) ou un appareil reproducteur.

3.2 ANALYSE DES LIEUX PAR DES EXPERTS

3.2.1 Description de la technique

Les renseignements obtenus et les observations faites lors des travaux des autres disciplines à l'étape II doivent être enrichis de photographies, de croquis et de notes à l'égard de caractéristiques évidentes touchant l'humidité et ses effets.

Des indications doivent être portées sur les plans, les coupes et les élévations d'étage lorsque des preuves d'humidité sont observées ou lorsqu'une pénétration d'humidité est suspectée.

3.2.2 Matériel

- Appareil photo grand angulaire, avec télé objectif à focale variable et macro–objectif.
- Flash électronique avec réglage à focale variable.
- Enregistreuse de poche et carnet de notes/de croquis.
- Ruban à mesurer.
- Carnet à dessin.
- Crayon ou cordon fumigène.

3.2.3 Mesures détaillées

Lors du parcours initial des lieux, l'assistance du gérant du bâtiment permet aux membres de l'équipe d'obtenir une vue d'ensemble et les met au courant du genre et de l'endroit des activités qui s'y déroulent.

Les observations sont enregistrées et des photos de chaque façade du bâtiment sont prises avec gros plan de chaque évidence de traces d'humidité :

- efflorescence
- empreinte d'humidification
- empreinte de poussière sur les murs extérieurs et les plafonds d'étages supérieurs
- décoloration ou décollement de la peinture
- condensation sur et dans le vitrage multiple scellé
- déterioration des joints
- dégradation du mortier
- condensation sur les murs, les planchers et les plafonds
- pourriture sur le bois
- gauchissement du lambrissage à base de bois
- humidité ou gondolage dans les moquettes
- empreintes d'eau aux appuis et linteaux de fenêtres
- gondolement et fissuration du plâtre et détérioration des murs secs
- empreintes de moisissure

- efflorescences sur les vitres – à l'intérieur ou à l'extérieur
- tâches au plafond de l'étage supérieur

Les observations sont enregistrées et des photos de tous les signes intérieurs d'humidité sont prises. Dans la mesure du possible, toute empreinte temporaire d'humidification ou de mouillage doit être cernée à l'aide d'un marqueur imperméable, créant ainsi une référence pour des essais ultérieurs.

Les observations sont enregistrées et des photos des toits sont prises à partir de points plus élevés afin de préciser l'emplacement des pénétrations et des avaloirs, ainsi que des configurations d'écoulement et de la condition superficielle du toit. La configuration et les conditions typiques du toit sont:

- formation de flaques d'eau
- dégravoîment
- formation de rigoles

Les observations sont enregistrées à l'égard des points suivants et des photos du toit, de la couverture et des terrasses sont prises :

- rigoles et soufflures
- érosion ou détérioration du gravier ou du recouvrement de surface
- clivage ou déplacement de la couverture
- déplacement ou signe de déplacement des descentes ou d'autres pénétrations
- points mous sous les pieds
- mousse ou végétation
- gauchissement ou séparation des solins
- écaillage et détérioration de la surface des terrasses

Dans la mesure du possible, il est préférable d'interroger les occupants et le personnel d'exploitation du bâtiment à l'égard des problèmes d'humidité auxquels ils ont fait face. Les renseignements suivants doivent être recueillis :

- fréquence du problème – selon la saison, etc.
- coïncidence des conditions atmosphériques
- période de la journée – durée

Essais ponctuels à l'aide de simples émetteurs de fumée (cigarette, cordon ou crayon fumigène) pour repérer le cheminement des fuites d'air.

Examen des détails des ouvrages tels que construits et des conditions d'humidité interne par des ouvertures d'accès et des regards, avec et sans aides (endoscope, miroir, etc.)

- accessoires en sous–face du platelage de toit
- accessoires à la jonction des murs extérieurs et des plafonds

3.2.4 Analyse et évaluation

Travaux conformes à ceux de l'étape I (3.1.3), mais portant sur des emplacements problèmes et des périodes de nature précise, ainsi qu'obtention de renseignements spécifiques en vue de vérifier ou de rectifier des données de plans et de documents et de compléter les informations reçues à la suite de visites faites sur les lieux par des spécialistes d'autres corps de métiers.

3.2.5 Affectation des ressources/temps imparti

Un spécialiste expérimenté et deux spécialistes subalternes ou techniciens pour environ 10 jours.

3.3 ÉTAGE II – TECHNIQUES SIMPLES DE MESURE

3.3.1 Description de la technique

Examen et essais concentrés aux emplacements reconnus à la suite de l'application des techniques de l'étape I, menés en conjonction avec les travaux suivants de cette série ou pour s'y ajouter :

- D36 Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
- D38 Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
- D39 Mesure de la résistance thermique

3.3.2 Matériel

- Thermomètre électronique à sonde de température superficielle
- Thermohydrographe
- Humidificateur portatif
- Humidimètres
- Détecteur de métaux calibré
- Détecteur électronique de poteaux
- Sonde visuelle lumineuse avec caméra
- Boyau d'arrosage avec canalisation d'eau pour simulation eau de pluie ou de fonte
- Colorant soluble dans l'eau
- Détecteur/avertisseur d'eau
- Piézomètre
- Compteur de temps d'exécution

3.3.3 Mesures détaillées

Les mesures de températures superficielles sont prises à certains endroits sur les fenêtres, ou sur des ponts thermiques particuliers, simultanément avec les températures de l'air à l'intérieur et à l'extérieur. On utilise habituellement un appareil électronique sensible, mais il est possible d'obtenir des mesures approximatives à l'aide d'un thermomètre de poche, à dilatation de liquide dans gaine de verre ou bimétallique.

Les thermohydrographes, habituellement à minuterie, peuvent servir à enregistrer de façon continue et pendant sept jours la température de l'air et l'humidité relative à l'intérieur. Le papier enregistreur doit être remplacé chaque semaine et les lectures finales doivent être vérifées à l'aide d'un psychomètre à rotation. Les lectures de ce dernier doivent être portées sur l'enregistrement terminé, avec indication de l'heure et de la date.

Les humidificateurs portatifs peuvent servir à augmenter le niveau d'humidité d'une pièce afin de préciser la formation de condensation sur une fenêtre.

Lorsqu'il est souhaitable d'obtenir des données sur la teneur en eau d'un composant, ou dispose de plusieurs technique. Il est possible d'utiliser des compteurs par contact superficiel permettent de connaître l'humidité sous la surface. Des compteurs munis de sondes pointues qui pénètrent sous la surface permettent de connaître la teneur en eau à différentes profondeurs.

Certains dispositifs plus complexes et plus encombrants utilisés sur une coupe permettent d'obtenir une indication de la teneur moyenne en eau (8).

L'emplacement d'éléments métalliques dans les murs de maçonnerie, par exemple les tirants, peut être repéré par des détecteurs de métaux. En utilisant un échantillon du tirant original, il est possible de calibrer ces instruments pour détecter tout changement dû à la corrosion.

Il est possible d'utiliser des détecteurs de variations des propriétés diélectriques afin de repérer les poteaux de bois ou de métal et d'obtenir ainsi un aperçu des détails de construction ou l'identification des ponts thermiques.

Les dispositifs à fibres optiques permettent d'obtenir, avec un minimum de dommages, de plus amples renseignements à l'égard de la condition interne de certains détails de construction. Des accessoires incorporés d'éclairage et de photographie peuvent y être adaptés.

Le cheminement des fuites d'eau peut être retracé en submergeant volontairement les toits et en arrosant les façades afin d'observer les fuites ou les empreintes d'humidification sur les finitions intérieures. Il est possible d'y ajouter des colorants solubles dans l'eau ou des agents traçants à fluorescence UV. Pour les façades, des différences de pression convenables doivent être choisies ou créées.

Il est utile de prendre des photos, à exposition retardée, des progrès du mouillage naturel ou artificiel des façades (9).

Des systèmes avertisseurs peuvent être installés pour signaler l'accumulation d'eau. Des piézomètres dans le sol indiquent, dans le cas d'études de l'humidité dans les infrastructures, le niveau d'eau et pression d'eau interstitielle (12).

Les compteurs de temps d'exécution sur les pompes de puisard calibrées fournissent des données sur le débit total d'écoulement ou sur le débit intégré en fonction du temps.

3.3.4 Analyse et évaluation

La mesure des températures superficielles des fenêtres, ou sur les ponts thermiques, ainsi que celle des températures de l'air intérieur et extérieur donnent une mesure d'indice de température (4) comme évaluation du rendement thermique et du risque de condensation en surface.

S'il n'est pas possible d'obtenir des autres disciplines des données sur la température et l'humidité intérieures, les enregistrements du thermohydrographe peuvent fournir des renseignements aux fins d'analyse des risques de condensation.

Par temps froid, il est possible d'utiliser l'humidification intentionnelle pour précipiter la condensation et fournir une indication des températures superficielles sur les fenêtres afin de compléter les lectures des températures en surface. Des photos ultérieures des empreintes de mouillage sur les façades extérieures soumises à des précipitations réelles ou simulées donnent une indication du cheminement de l'eau sous l'effet de la gravité et du vent. Cette technique permet de confirmer ou d'indiquer l'emplacement des concentrations d'écoulement des eaux en surface ainsi que la qualité de l'égouttement et des dispositifs de dérivation, afin d'évaluer les risques de pénétration de l'eau et le développement des empreintes d'humidification (9).

L'accumulation d'eau ou le mouillage intentionnel sur les toits et les façades peut permettre de reconnaître les formes d'écoulement par gravité et de localiser le cheminement des fuites. Dans la majorité des cas, ce genre d'essai exige en même temps l'étude des plans d'archives et sera nettement favorisé par une inspection des ouvrages mêmes par des ouvertures réparables. L'emploi d'agents traçants permet d'approfondir d'avantage les causes du problème.

La mesure de la teneur en eau offre un repère sur lequel avancer des hypothèses fondées sur les données historiques et s'avère utile s'il est impossible de vérifier la présence d'humidité par une simple observation. Étant donné la nature transitoire du milieu ambiant au–dessus du sol, la connaissance du niveau réel de la teneur en eau n'est guère utile.

Sur le plan thermique, l'environnement en infrastructure est relativement stable et la mesure de la teneur en eau ou de la nappe phréatique dans le sol représente un important indicateur environnemental. Les données climatologiques régionales peuvent être utilisées comme base de comparaison; elles fournissent certains indices quant à l'influence du bâtiment et de ses environs sur la migration de l'humidité en infrastructure. L'analyse peut être fréquemment fondée sur un régime permanent pour la diffusion de vapeur et de la capillarité.

3.3.5 Affectation des ressources/temps imparti

Un spécialiste expérimenté et deux adjoints pendant environ trois semaines.

3.4 ÉTAPE III – MONITORAGE DÉTAILLÉ ET SPÉCIALISÉ

3.4.1 Description de la technique

Examen détaillé et essais à court terme des conditions et de la performace aux emplacements reconnus après l'application de la technique de l'étape I et II, et évaluation, conjointement avec les documents suivants de cette série :

- D36 Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
- D38 Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
- D39 Mesure de la résistance thermique

3.4.2 Matériel

- Enregistreurs de durée du mouillage
- Hydromètre enregistreur de Bouyoucos
- Détecteur à métaux calibré

- Humidimètre nucléaire
- Capteurs de propagation de fissures
- Enregistreurs de mouvements de joints
- Photoexpositions retardées, caméras ou magnétoscopes
- Détecteur électronique de poteaux
- Humidimètre à bois Delmhorst
- Capacimètre
- Hygromètre pour plantes
- Capteurs d'humidité au cobalt
- Détecteur/avertisseur d'eau
- Sonde visuelle lumineuse avec caméra
- Boyau d'arrosage avec canalisation d'eau pour simulation eau de pluie ou de fonte
- Colorant soluble dans l'eau
- Scie sauteuse ou lames pour essais de coupe dans les plaques de plâtre et les couvertures
- Outils pour déposer les protecteurs de convecteurs, les trappes d'accès, les solins
- Humidificateur portatif
- Déshumidificateur domestique

3.4.3 Mesures détaillées

Photographie par expositions retardées ou séquentielle des empreintes de mouillage sur les façades du bâtiment sous pluie réelle ou simulée.

Mesure de l'écoulement et de la progression des empreintes de mouillage par pénétration naturelle ou simulée dans les éléments de l'enveloppe, avec ou sans agents traceurs.

Observation de cheminements de fuites à travers les éléments de l'enceinte sous mouillage naturel ou simulé avec différences de pression intentionnelles.

Inspection de détails internes de l'enveloppe à travers des ouvertures existantes ou pratiquées dans le parement extérieur (toits) ou les finitions intérieures (murs). Observation de la pénétration de l'eau sous mouillage naturel ou simulé, avec ou sans agents traceurs.

Modification du milieu ambiant interne de manière à en observer les effets sur la condensation, sur les températures superficielles :

- en abaissant ou en haussant la température de l'air
- en abaissant ou en haussant l'humidité
- en augmentant la circulation de l'air

Mesure et enregistrement de la teneur en eau des matériaux à divers emplacements choisis.

Localisation de composants cachés: cadrages de bois et de métal, tirants de maçonnerie, cavités, éclaboussures de mortier.

Balayage thermographique de la façade et du toit du bâtiment sous des températures et des pressions différentielles sur l'enveloppe et des conditions ambiantes intérieures connues afin de :

- **détecter les concentrations de forte teneur en humidité**
- **détecter les points de fuite d'air favorisant l'accumulation d'humidité**
- **détecter les formations de température superficielle sur le parement extérieur et sur la couverture, reliées aux effets de la dilatation et de la contraction (observations nocturnes).**

Photographie aérienne des empreintes de mouillage, de l'accumulation de neige et de l'accumulation d'eau sur les toits.

Enregistrement permanent des températures superficielles et des gradients de température dans les composants de l'enveloppe à certains emplacements choisis.

Mesure de la pluie battante sur les façades et de l'écoulement à partir de bouches d'écoulement choisies.

Mesures périodiques des tensions et des mouvements des membranes de couverture.

Mesure progressive de la détérioration des tirants de maçonnerie à l'aide de détecteurs de métaux portatifs calibrés.

Enregistrement permanent de la période de mouillage des tirants et autres composants de l'enveloppe.

Photographies par expositions retardées des empreintes de condensation sur les fenêtres et autres composants de l'enveloppe.

Mesures régulières ou permanentes de la suction du sol (tensiomètre) et de la nappe phréatique pour les infrastructures.

3.4.4 Analyse et évaluation

Conformément aux techniques connexes de l'étape II indiquées en 3.3.1.

3.4.5 Affectation des ressources/temps imparti

Conformément aux techniques connexes de l'étape indiquées en 3.3.1.

4. RÉFÉRENCES

(1) Hutcheon, N.B. and Handegord, G.O., **Building Science for a Cold Climate** John Wiley and Sons Canada, 1983.

(2) Wilson, A.G., **Condensation in Insulated Masonry Walls in Summer**, RILEM/CIB Symposium "Moisture Problems in Buildings", Helsinki 1965, NRC 9130.

(3) Handegord, G.O.P., **Prediction of the Moisture Performance of Walls**, ASHRAE Transactions 1985, Vol. 91 Pt. 2.

(4) Wilson, A.G. et Brown, W.P., **Caractéristiques thermiques des fenêtres à contrechâssis**, Digest de la construction au Canada 58F, septembre 1967.

(5) Legget, R.F. et Crawford, C.B., **Arbres et immeubles**, Digest de la construction au Canada 62F, septembre 1967.

(6) Hamilton, J.J., **Fondations dans les sols sujets à des gonflements ou à des retraits**, Digest de la construction au Canada, 184F, juin 1977.

(7) Burn K.N., **Action du gel sur les fondations**, Digest de la construction au Canada 182F, avril 1977.

(8) TenWolde, A. and Courville, G., **Instrumentation for Measuring Moisture in Building Envelopes**, ASHRAE Transactions 1985 Vol. 91 Pt. 2.

(9) Robinson, G. and Baker, M.C., **Wind-driven Rain and Buildings**, Technical Paper n° 445, July 1975, NRCC 14792.

(10) Baker, M.C., **Evacuation des eaux pluviales des couvertures**, Digest de la construction au Canada 151F, février 1974.

(11) Baker, M.C., **La glace sur les toits**, Digest de la construction au Canada 89F, juillet 1968.

(12) Bososuk, M., **Description and Installation of Piezometers for Measuring Pore Water Pressures in Clay Soils**, DBR/NRCC Building Research Note 37.

(13) **Construction Details for Airtightness**, DBR Seminar Workshop Proceeding n° 3, Division of Building Research 1980, (NRCC 18291).

5. ANNEXES

5.1 TERMES ET UNITÉS STANDARDS DE MESURE

isothermique – témperature constante.

humidité relative – (HR) – le rapport entre la vapeur d'eau dans l'air intérieur et la vapeur d'eau dans l'air saturé à une même température sèche et une même pression barométrique; en gros, l'humidité relative est le rapport entre la pression partielle ou densité de la vapeur d'eau dans l'air et la pression de saturation ou densité de la vapeur d'eau à la même température humide.

lentilles de glace – de minces couches de glace qui se forment dans le sol lorsqu'il y a gel. L'accumulation de ces couches cause un movement vers le haut du sol.

pression de vapeur – la pression exercée par le vapeur.

surcroit de gel – le processus par lequel un objet colle à un autre par l'action de la glace.

pièzometre – un instrument utilisé pour mesurer la pression.

température de rosée – température jusqu'à laquelle il faut refroidir de l'air humide (à pression constante) pour qu'il arrive à saturation.

5.2 LISTE DES DOCUMENTS ÉVALUANT LE RENDEMENT DES IMMEUBLES

Dans cette série, les documents sont subdivisés en quatre classes différentes. Les documents de classe A donnent des explications à savoir comment utiliser les documents des trois autres classes. La classe B est un répertoire d'essais lequel inclut un index et des références. Les documents de classe C donnent un compte rendu des trois domaines d'évaluation et résument les documents de classe D dans leur domaine respectif. Les documents de classe D contiennent une description des attributs du rendement des immeubles et donnent les méthodes pour les évaluer.

	A1	Guide du directeur de projet
	A2	Guide du gérant d'immeuble
	B1	Répertoire d'essais
Relevés	C1	Rendement énergétique et environnemental
	C2	Rendement fonctionnel
	C3	Rendement des systèmes et du matériel
Rendement énergétique et environnemental	D01	Évaluation des polluants
	D02	Migration de la pollution
	D03	Évaluation de l'ambiance thermique
	D04	Évaluation globale: rendement énergétique
	D05	Évaluation des secteurs de consommation: rendement énergétique
	D06	Évaluation des installations et systèmes: rendement énergétique
	D07	Évaluation des améliorations: rendement énergétique
	D08	Évaluation de l'environnement acoustique
	D09	Évaluation de la circulation d'air
	D10	Évaluation de l'éclairage
	D11	Relevé des données atmosphériques
Rendement fonctionnel	D20	Analyse des documents et archives
	D21	Annotation des plans
	D22	Entrevues centrées
	D23	Questionnaires
	D24	Observations
Rendement des systèmes et du matériel	D30	Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition
	D31	Dalles et toîts structuraux: relevé de la condition
	D32	Garages de stationnement: relevé de la condition
	D33	Évaluation des installations mécaniques
	D34	Évaluation des contrôles mécaniques
	D35	Évaluation des systèmes électriques
	D36	Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
	D37	Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur
	D38	Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
	D39	Mesure de la résistance thermique
	D40	Inspections de la teneur en humidité
	D41	Évaluation des systèmes de couvertures